

SOFTWARE DE APLICACIÓN EN INGENIERÍA: UNA VISIÓN DE LA OFERTA ACTUAL Y DE LAS TENDENCIAS

Estamos tan acostumbrados a la presencia de los ordenadores como parte de nuestra actividad cotidiana que ya nadie duda de su utilización en ámbitos como la Ingeniería, la Investigación o la producción industrial.

Aunque es innegable que las ventajas competitivas que de ello se derivan son tan grandes que ninguna empresa las puede ignorar, el panorama que se dibuja en España sobre el uso de *software* de carácter técnico o científico dista mucho de lo que sería deseable, en especial cuando se comparan las cifras con las de otros países de la comunidad europea, Japón y, por supuesto, EE.UU..

La oferta y variedad de las aplicaciones actualmente disponibles para el mundo de la Ingeniería es muy grande viniendo a cubrir la práctica totalidad de disciplinas, desde la Ingeniería Civil hasta la Mecánica, Industrial o Electrónica.

Este artículo pretende ofrecer una visión general del tipo de soluciones que hoy es posible encontrar en el

Ramón Ollé León
Ingeniero Superior de Telecomunicaciones (UPC)
Director técnico de Aertia Software



Recibido: 27-7-05

Aceptado: 26-9-05

mercado e introducir una pincelada histórica sobre su evolución.

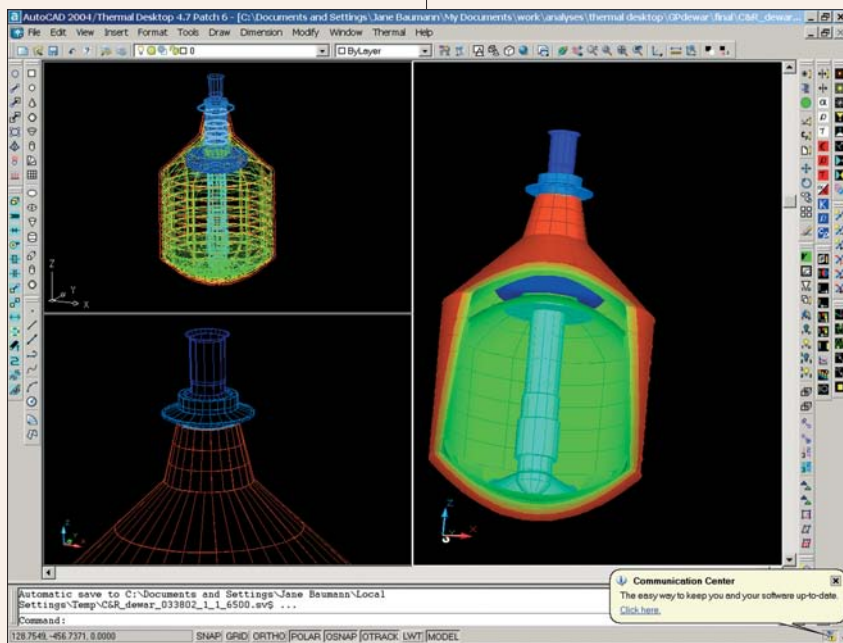
Pero, ¿cómo se explica el bajo uso de las aplicaciones de Ingeniería en España? Dos serían los factores más relevantes de esta circunstancia. Por un lado, la escasa presencia en el mercado español de los fabricantes de aplicaciones técnicas hace que éstas no sean demasiado conocidas ni utilizadas localmente. Además, tratándose de *software* ciertamente especializado, la dificultad que conllevaría un posible soporte y formación del producto supone también un obstáculo.

Por otro lado, el coste puede resultar, en ocasiones, un inconveniente aparente. En particular, este tipo de aplicaciones tan específicas suele tener un coste elevado en comparación con programas más corrientes. Sin embargo, como ya hemos indicado, este hecho es sólo una apariencia. Si determinamos el retorno de la inversión, es decir, el beneficio obtenido por implantar una aplicación de Ingeniería determinada, veremos que su coste se recupera rápidamente. Y es que un diseño óptimo, únicamente alcanzable con el uso de herramientas especializadas, no sólo supone una significativa reducción de costes de pruebas y producción sino, además, un notable incremento de la calidad.

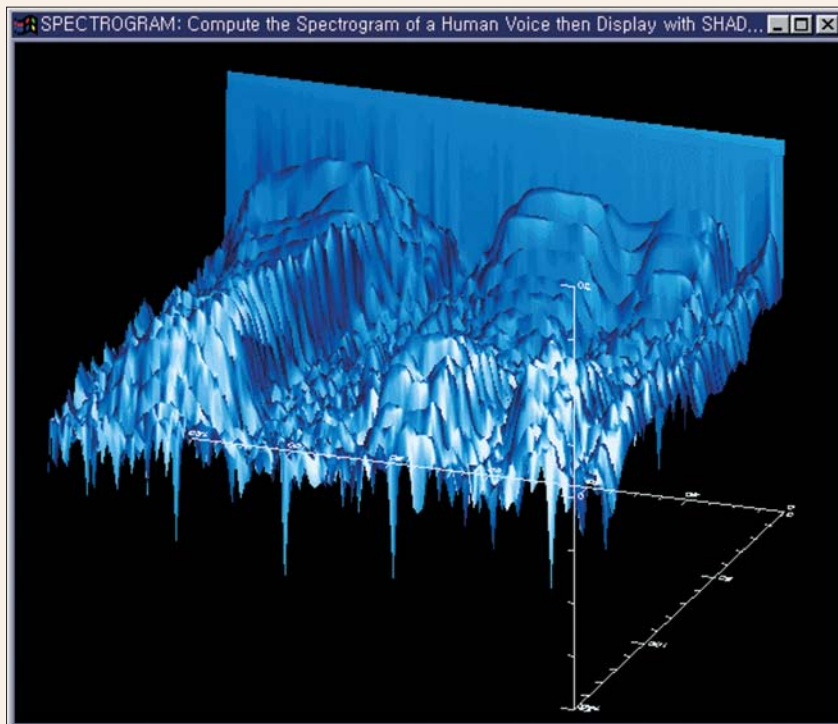
De lo general a lo específico

Como ya es característico en toda evolución, las primeras aplicaciones *software* usadas en el mundo de la Ingeniería tenían un carácter general y venían a sustituir a procesos que, hasta el momento, se realizaban manualmente o mediante una calculadora. No estaban orientadas a un sector o problema específicos sino que, por su propia concepción, resultaban apropiadas para cualquier tipo de cálculo matemático.

Sin duda, fueron los compiladores *Fortran* y *C* del momento las herramientas más profusamente utilizadas por ingenieros y científicos. Bajo la idea de "hágalo Vd. mismo", la comunidad científico - técnica, amplia-



Con Sinda/Fluint es posible modelar componentes en 3D y analizar la distribución de calor al circular un fluido en su interior.



IMSL es una familia de bibliotecas científicas que ofrece funciones para la creación de gráficas, a partir de datos muy complejos, como este espectro de la voz humana.

mente necesitada de instrumentos de cálculo, empezó a utilizar estos compiladores desde sus orígenes para atacar todo tipo de problemas. Hoy en día, a pesar del tiempo transcurrido, se siguen utilizando de forma cotidiana en multitud de departamentos universitarios y empresas privadas. Y es que, a pesar de la amplísima oferta actual de aplicaciones técnicas, siempre existen proyectos y desarrollos específicos para los que resulta necesario el uso de compiladores. De hecho, algunas de las aplicaciones dirigidas a sectores bien concretos, como el de Dinámica de fluidos, continúan apoyándose en compiladores *Fortran* para la resolución de los modelos de diseño.

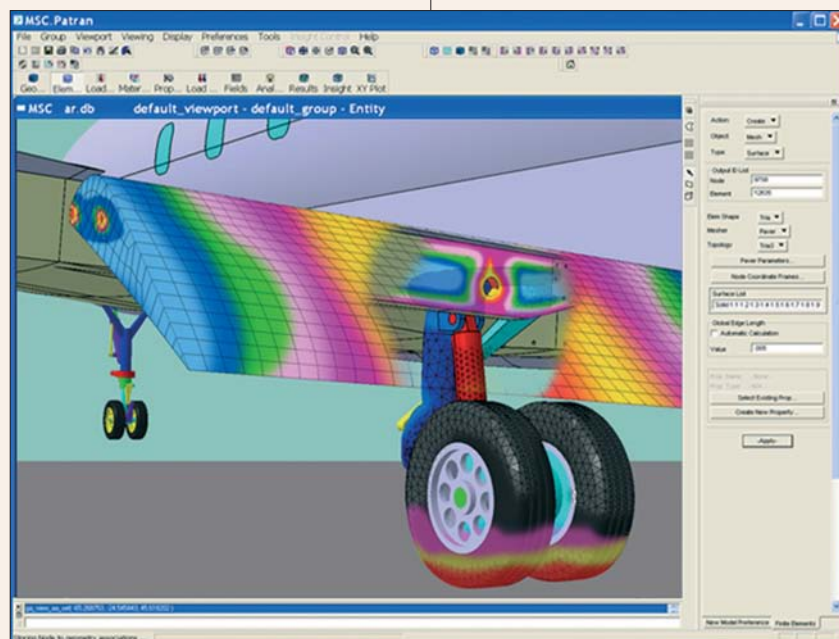
Como cabía esperar, la evolución de los compiladores ha ido paralela a la del *hardware* con el claro objetivo de extraer el máximo rendimiento posible de cada ciclo de la CPU (Unidad Central de Procesos). Así, resulta habitual encontrarnos hoy en día con compiladores C y *Fortran* capaces de ejecutarse en modo paralelo tanto en máquinas multiprocesadoras como en *clusters Linux*, y de aplicar un buen número de optimizaciones en el código para arañar segundos a los tiempos de ejecución.

Junto con los compiladores, fueron surgiendo un buen número de bibliotecas de funciones de propósito más o menos general, con las que la tarea de la programación se simplificaba notablemente. Un buen ejemplo de ello son las bibliotecas IMSL, un amplísimo conjunto de funciones de carácter matemático, estadístico y gráfico, que, en sus orígenes (hace

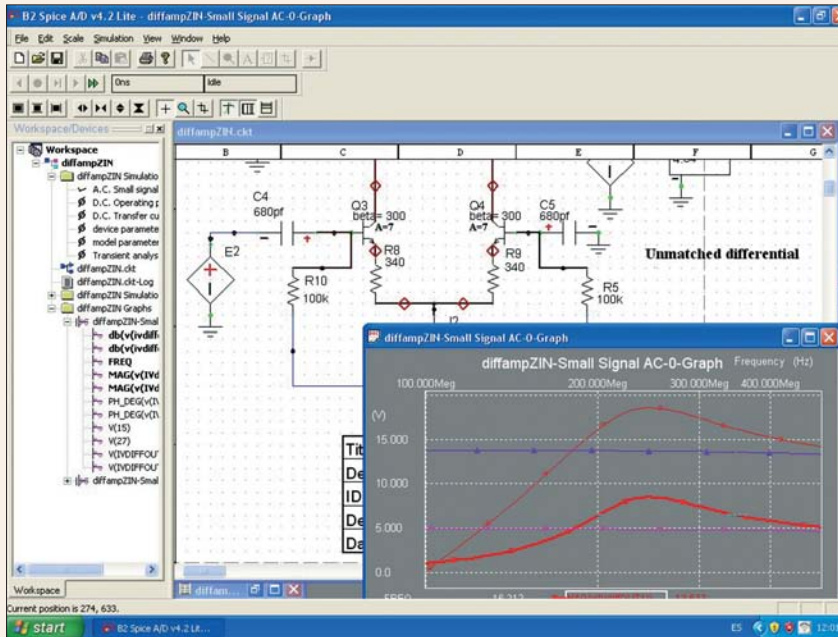
ya algunas décadas) permitía acelerar la creación de aplicaciones C y *Fortran*, y que actualmente ha ampliado sus horizontes a los lenguajes C++, C# y *Java*, en multitud de plataformas.

Pero, a pesar de que el hecho de crear uno mismo sus propias aplicaciones técnicas pueda resultar atractivo, no siempre es una idea práctica ni viable. El que un ingeniero deba convertirse en programador casual como parte de su actividad diaria no parece, desde luego, muy acertado y éste es el motivo por el que, paralelamente a la introducción generalizada de los equipos informáticos, surgieron lo que se conocen como aplicaciones de Álgebra computacional y Cálculo numérico. Éstas no son más que cuadernos de trabajo en blanco sobre los que se pueden realizar cálculos matemáticos de muy diversa índole, desde operaciones básicas hasta la resolución de matrices y ecuaciones diferenciales o la creación de gráficas complejas. Ejemplos de este tipo de herramientas son programas como *Mathematica*, *Maple*, *Matlab* o *MuPad*, muy conocidos y ampliamente utilizados en la actualidad.

Su principal ventaja es que están concebidos como aplicaciones especialmente dirigidas a la comunidad técnica y científica, y que pueden re-



Mediante el Análisis de elementos finitos aplicado a sólidos es posible determinar la tensión experimentada en cada punto del modelo.



Ejemplo de modelo usando un programa CAE de diseño electrónico.

solver multitud de problemas de manera muy flexible. Sin embargo, esta generalidad resulta también un inconveniente si lo que se pretende es modelar un problema físico concreto. Es el propio investigador o ingeniero quien debe definir todo el problema mediante el lenguaje de programación o *script* propio de cada herramienta, lo que parece devolvernos al punto de partida. Muchas de estas aplicaciones incorporan lo que se conoce como *toolboxes*, complementos destinados a campos concretos y que facilitan la labor del usuario, pero que, a pesar de ello, no permiten alcanzar las prestaciones propias de las aplicaciones pensadas para la resolución de problemáticas específicas.

Herramientas multidisciplinarias

Antes de abordar cuáles son las principales aplicaciones específicas utilizadas en el mundo de la Ingeniería, convendría hacer mención de las denominadas herramientas multidisciplinarias. Se trata de programas que resuelven una problemática concreta, pero que son de utilidad en muchos ámbitos de la Ingeniería. El caso más conocido es el de las aplicaciones estadísticas, que permiten llevar a cabo un análisis numérico de los datos sea cual fuere su origen. Si bien su uso durante la fase de diseño es limitado, resultan de extrema utilidad para la

investigación, el control de producción o la valoración de resultados. Las aplicaciones estadísticas más conocidas son *SPSS*, *StatGraphics*, *Minitab* o *XLStat* (esta última como *add-on* de *MS Excel*), y su uso está ampliamente generalizado.

Yendo un paso más allá de las soluciones estadísticas, encontramos las aplicaciones de Análisis de riesgos. Son programas que tienen por objetivo crear modelos predictivos que permitan realizar un análisis de riesgos y tomar decisiones partiendo de ellos. Su ámbito de aplicación es muy amplio ya que en cualquier proceso de diseño o producción siempre intervienen multitud de factores que es necesario ponderar adecuadamente. La aplicación estrella dentro de esta categoría tiene un curioso nombre: *Crystal Ball*.

Finalmente, existe otro vasto campo de herramientas cuya mención merece punto y aparte.

Se trata de sistemas o aplicaciones basados en conceptos novedosos cuyo potencial se empieza ahora a descubrir. Sería éste el caso de los Sistemas de redes neuronales, programas que permiten poner en práctica algoritmos de aprendizaje con la intención de resolver problemas reales cuyo análisis mediante otras aproximaciones resulta extraordinariamente complejo o imposible. Discipli-

nas tan diversas como el reconocimiento de patrones por ordenador, la predicción del futuro en base al pasado o la elaboración de sistemas expertos pueden ahora implementarse de forma fiable con productos como *NeuroDimensions*, una herramienta multidisciplinar de inteligencia artificial.

El modelado mediante elementos finitos

Entrando ya en lo que son propiamente aplicaciones de Ingeniería, cabe indicar que el denominado método de Análisis por elementos finitos o FEA (según su acrónimo anglosajón) es el más ampliamente utilizado por la mayoría de herramientas que abordan problemas de modelado y simulación específicos. En síntesis, lo que pretende este método es obtener una solución del problema descomponiendo el objeto o entorno real que se desea analizar en un gran número de elementos constituyentes básicos, generalmente cubos. El comportamiento de cada uno de estos pequeños cubos es mucho más fácil de determinar numéricamente a partir del juego de ecuaciones apropiado para el problema en cuestión y a las condiciones de contorno calculadas para los cubos que lo rodean. Una vez determinados los resultados de cada elemento, se promedian de alguna forma para mostrar cuál será el comportamiento del objeto real.

Naturalmente, las variables y el juego de ecuaciones diferenciales que maneja cada aplicación FEA están en función del tipo de problemas a los que ésta se dirige. En el caso de Mecánica de sólidos, por ejemplo, se manejan cargas y desviaciones. Si se analizan fluidos, será necesario resolver ecuaciones de modelos de turbulencia y las variables principales a tratar serán presión, velocidad y temperatura. Pero, con independencia del problema físico objeto del análisis, todas estas aplicaciones utilizan un modelo de aproximación idéntico y bien conocido desde hace tiempo. Antes de la existencia de las aplicaciones FEA, los ingenieros debían recurrir a técnicas de Cálculo integral y diferencial con sus correspondientes

limitaciones y aproximaciones para la simplificación de los modelos.

El abanico de aplicaciones FEA hoy disponible es muy extenso, tanto como el número de disciplinas que trata la Ingeniería. Prácticamente cualquier situación en que resulte posible descomponer un modelo en “trozos” elementales para aplicar sobre ellos las ecuaciones que rigen su comportamiento, dispone ya de aplicaciones informáticas de gran utilidad para el trabajo diario de un ingeniero. Sin duda, una de los primeros campos que se benefició de este tipo de aplicaciones fue la Mecánica de sólidos, en que se analiza la reacción experimentada por un componente o ensamblaje, con cualquier grado de complejidad, ante la aplicación de determinadas fuerzas (incluida la gravedad, por supuesto) u otras variables.

Una de las principales aplicaciones dentro de esta categoría es *NEiNas-*

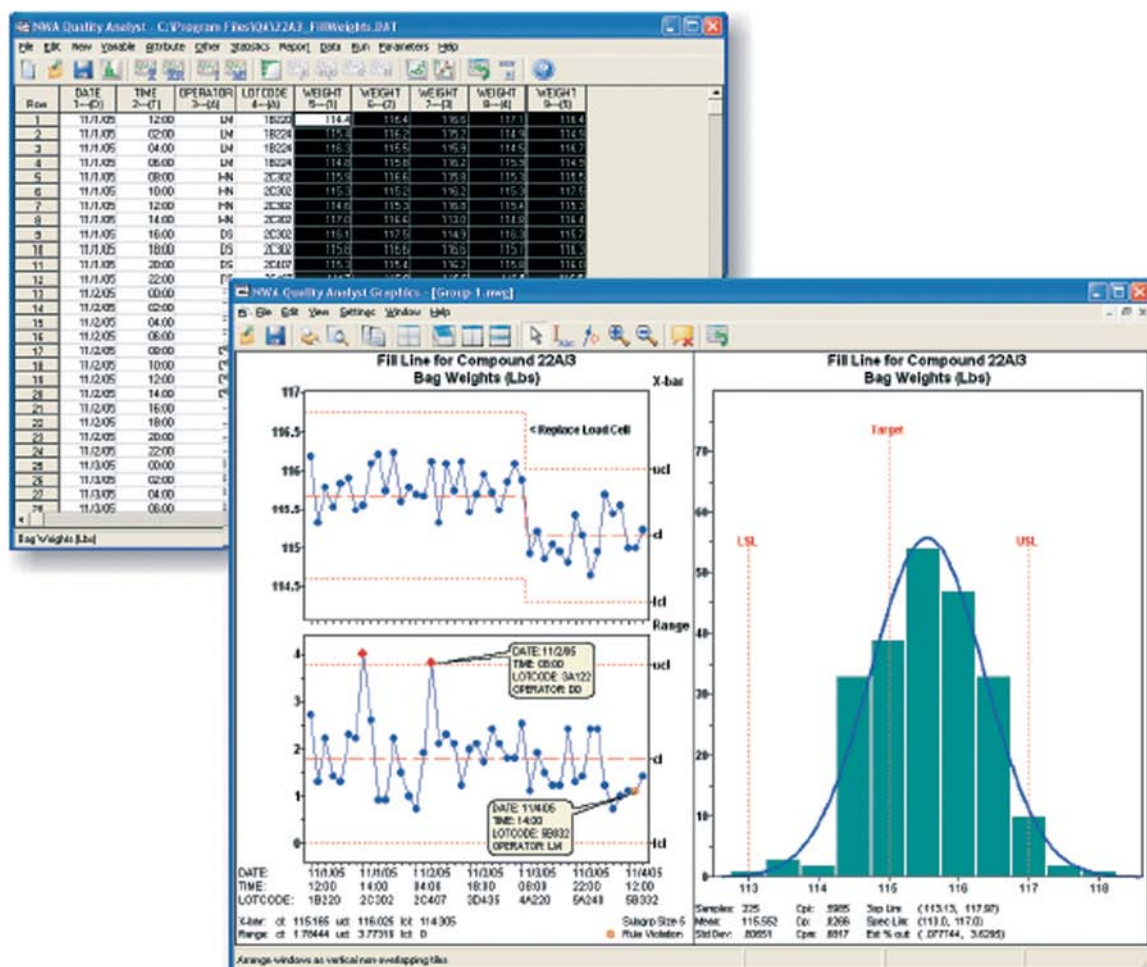
tran, herramienta que permite modelar componentes mecánicos y estructurales así como su análisis. Aplicaciones como la mencionada no sólo permiten llevar a cabo análisis estáticos de tipo lineal para, por ejemplo, determinar la tensión en ciertos puntos al someter el modelo a una carga, sino que son capaces de calcular respuestas dinámicas y transitorias del problema, así como aplicar condiciones no lineales para obtener resultados más ajustados a la realidad.

En algunas ocasiones, se incorporan, además, otros tipos de análisis que pueden resultar de interés bien sea a través de la propia aplicación o como un módulo opcional, aprovechando la existencia del ensamblaje. En el caso concreto de *NEiNas-*, es posible llevar a cabo un análisis térmico de los modelos, tanto en estado estacionario como transitorio, así como calcular su fatiga o aeroelasticidad.

En consecuencia, muchas de las herramientas FEA actuales pueden ser utilizadas, dada su generalidad, en campos como la Ingeniería civil, la Ingeniería aeronáutica y de automoción, y el diseño mecánico de multitud de componentes y sistemas.

Una solución para cada problema

Pero las aplicaciones FEA no sólo se limitan al modelado de sólidos. El análisis de elementos finitos es el corazón de muchas otras herramientas dirigidas a la resolución de problemas en disciplinas tan diversas como la Mecánica de fluidos o el Electromagnetismo. Son productos más específicos que abordan aspectos concretos y que requieren mayor especialización y conocimiento de la problemática a tratar. A modo de resumen, podríamos destacar los dos campos siguientes:



Las herramientas de control de producción permiten validar si el producto final se ajusta o no a las especificaciones.

Dinámica de fluidos

Existen diferentes soluciones FEA para la simulación y modelación del comportamiento de fluidos en diferentes entornos, algunas de las cuales llevan ya varias décadas en el mercado. Comúnmente, estas aplicaciones fueron el fruto de un desarrollo a medida que, con posterioridad, se comercializaron. Es el caso, por ejemplo, de *Sinda/Fluint*, un programa a medida creado para **Chrysler Aerospace** en los años 60, que, tras su puesta en marcha inicial, pasó al mercado. En la actualidad, las aplicaciones de dinámica de fluidos (también conocidas como CFD) gozan de importante popularidad por la amplitud de su ámbito de aplicación. Pensemos en que resultan claves en la fase de diseño de cualquier elemento, componente o sistema en que algún fluido, líquido o gaseoso, intervenga, por lo que su utilización es apropiada

pectos tan interesantes como la propagación de humos en un incendio, el sistema de climatización de edificios completos con un elevado nivel de detalle, la combustión en hornos o el comportamiento previsto ante un vertido de petróleo en ríos o aguas costeras.

Electromagnetismo

Otro sector que claramente se beneficia del uso de modelos de elementos finitos es el del Electromagnetismo. Problemas como la determinación óptima de aislamientos, el modelado de motores, conductores, altavoces, antenas y cualquier otro dispositivo de naturaleza electromagnética, y el diseño de cañones de electrones o tubos de rayos X para equipos médicos, pueden ser resueltos mediante las actuales herramientas FEA.

Dada la particular naturaleza del análisis electromagnético, estas he-

análisis mediante elementos finitos no es la panacea y para determinados diseños resulta más apropiado utilizar el denominado *BEM (Boundary Element Method)* o incluso, si es posible, una combinación de ambos métodos.

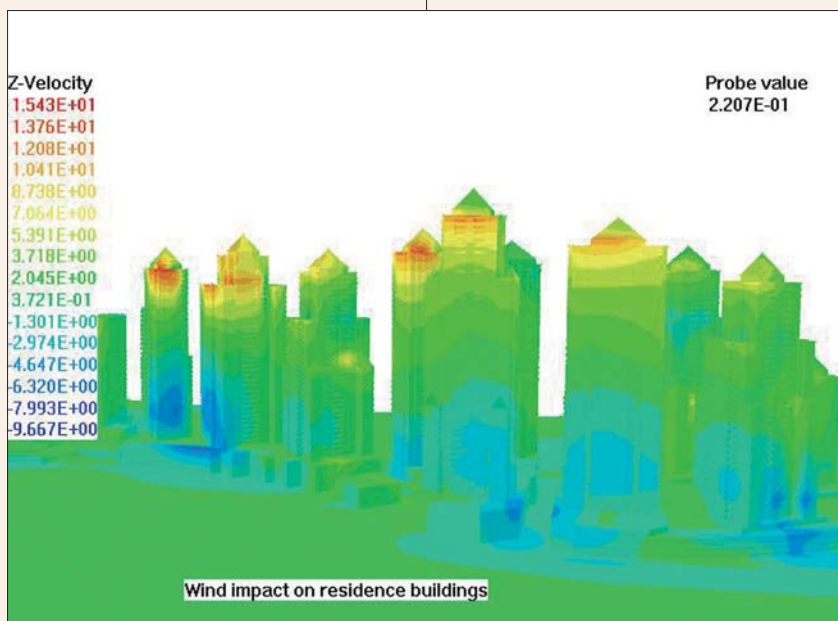
Los fabricantes más representativos en este sector son **Field Precision** e **Integrated Engineering Software**, cada uno de los cuales ofrece un importante conjunto de aplicaciones para abordar problemas de campos eléctricos y magnéticos (en 2D y 3D), trayectoria de partículas, haces ópticos, radiofrecuencia y radiación térmica.

¡Más potencia, por favor!

Como se ha podido comprobar de manera experimental, el abordaje de muchos problemas físicos mediante la técnica de análisis por elementos finitos resulta satisfactorio. Todas las aplicaciones FEA del mercado han sido exhaustivamente probadas para verificar que los resultados numéricamente obtenidos se corresponden con las medidas experimentales de los modelos reales. Aun así, resulta imposible predecir cuál será el destino final de cada aplicación ni el uso que se va a hacer. Además, serán los ingenieros responsables del modelo o diseño quienes deban determinar finalmente si los resultados proporcionados son plausibles.

Debemos considerar, pues, que las aplicaciones FEA no son más que herramientas de cálculo que, a partir de un determinado *input* (el modelo), retornan un resultado. Ante esta premisa, es habitual que el ciclo de desarrollo consista en ir refinando una idea inicial a partir de los resultados obtenidos tras sucesivas iteraciones. Dicho en otras palabras, se trataría de poner en práctica el tradicional método de *prueba y error*. Sólo de esta forma sería posible, por ejemplo, determinar el espesor adecuado de una pieza de geometría compleja para resistir una presión máxima conocida sin resultar excesivamente pesada.

Sin embargo, muchos de los programas FEA presentan una limitación bien conocida: el gran tiempo de cálculo que requieren. Para obtener re-



Simulación del impacto del viento en un conjunto de edificios mediante Flair.

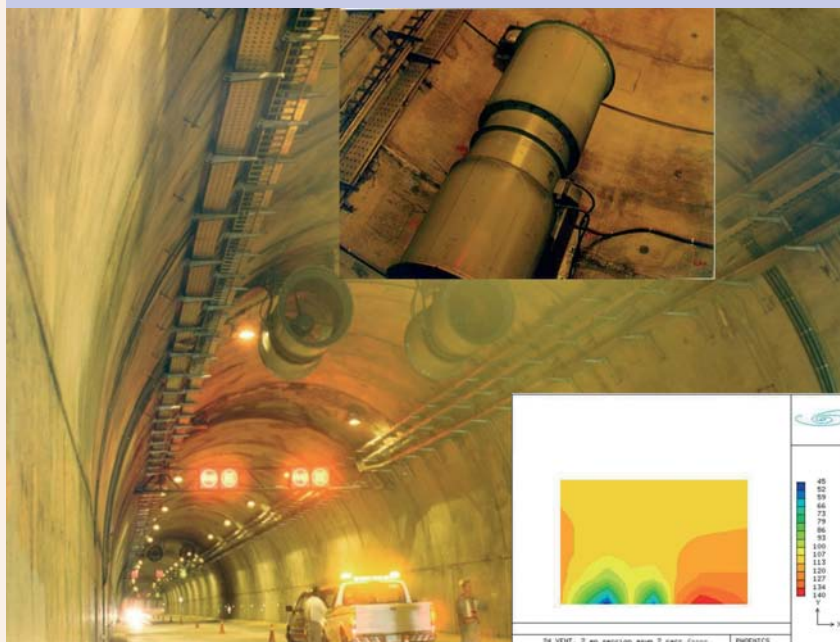
tanto para idear generadores eólicos, inyectoros de tinta o propulsores.

Una de las soluciones más versátiles en el campo de la dinámica de fluidos es *Phoenix*, que lleva ya más de 30 años en el mercado y cuenta en su haber con un impresionante registro de escenarios y sistemas modelados con éxito. Su completo soporte de todo tipo de modelos físicos ligados con fluidos permite simular as-

herramientas suelen contar con versiones simplificadas que sólo contemplan el cálculo en dos dimensiones y que suelen ser apropiadas para aquellos problemas en que la tercera dimensión puede ser ignorada. Además, y con independencia de si la aplicación es 2D ó 3D, muchos de los programas dirigidos a este sector incorporan métodos alternativos para la resolución de los problemas. El

Un ejemplo de aplicación del software en Ingeniería: El análisis y simulación de Incendios en una obra civil

Una de los campos en que actualmente existe mayor demanda de *software* especializado es la de análisis, simulación y prevención de incendios, disciplinas relacionadas con la Ingeniería civil y medioambiental. *Flair* permite crear modelos de infraestructuras complejas como túneles y evaluar las posibles situaciones de riesgo que pueden producirse y sus consecuencias, así como analizar el comportamiento de los mecanismos de emergencia contra incendios y su efectividad. *Flair* está basado en *Phoenix*, un conocido programa de Dinámica de fluidos y, entre otras cosas, permite determinar parámetros tales como la temperatura y velocidad de gases, la propagación de fuegos y la concentración de partículas en el aire.



sultados precisos, es necesario que el número de elementos en que se descompone un modelo sea lo suficientemente grande como para poder representar bien sus detalles. Es obvio que su complejidad delimitará dicho número, pero trabajando con modelos 3D no es infrecuente encontrarnos ante millones de cubos. Si a esto añadimos ecuaciones diferenciales complejas cuyo tiempo de cálculo para un único cubo no es despreciable, es de esperar que cada simulación requiera una cierta espera. De hecho, tiempos de cálculo de horas (e incluso días) se dan con frecuencia en los diseños más complicados.

La solución pasa por reducir el número de elementos finitos (algo que no siempre resulta apropiado) o aumentar la potencia de cálculo de alguna forma. En este sentido, muchas aplicaciones FEA ya ofrecen soporte para cálculo en paralelo a través de

los estándares *MPI* y *OpenMP*, bien sea en máquinas multiprocesadoras o en sistemas cluster, así como capacidad de ejecución en plataformas *UNIX* y *Linux*. El hecho de que, en ciertas ocasiones, estas aplicaciones se apoyen en compiladores *Fortran* o *C* para la obtención de sus resultados permite asimismo hacer uso de compiladores altamente optimizados, como *PathScale* o *PGI Portland Group*, capaces de reducir los tiempos de ejecución en factores nada despreciables.

Herramientas específicas

Además de todas las soluciones hasta ahora comentadas, el mercado ofrece un impresionante conjunto de aplicaciones de carácter técnico y científico, que, hoy por hoy, cubren todos los campos de la Ingeniería. Basta con utilizar cualquier buscador de Internet para encontrarnos ante

una pléyade de programas con los que abordar cualquier problema de diseño que uno pueda imaginar. Muchas de estas aplicaciones son el resultado de proyectos iniciados en diferentes universidades del mundo que han entrado dentro del mercado comercial. Otras se ofrecen de manera gratuita a la comunidad científico-técnica como *software libre*.

Es del todo imposible citar todas y cada una de las categorías de aplicaciones disponibles. A modo de resumen, podemos encontrar desde las conocidas herramientas CAD de ayuda al diseño, hasta aplicaciones de Ingeniería eléctrica y electrónica para el diseño y simulación de circuitos analógicos y digitales, *software* para la simulación de eventos físicos, programas para el control de automatismos y la adquisición de datos, aplicaciones químicas, o herramientas tan específicas como un simulador de la dinámica de navegaciones dirigido a la Ingeniería náutica.

Un ejemplo del tipo de soluciones que es posible encontrar dentro del mundo de la Ingeniería industrial es *AutoMod*, una aplicación que permite crear modelos de plantas de producción en detalle, sin limitación alguna, y con la capacidad de mostrar animaciones de realidad virtual en 3D. Huelga decir que su puesta en marcha permite optimizar el diseño y operativa de una planta, con el consiguiente ahorro económico que ello puede suponer, pero, más que el ejemplo en concreto, la idea que debe permanecer es que la tecnología actual permite abordar con garantías multitud de problemáticas gracias al uso del *software*.

No todo es diseño

Si bien muchas de las soluciones comentadas están orientadas a una mejora del proceso de diseño, es evidente que el ámbito de aplicación del software va más allá, entre otras circunstancias, porque el diseño incide directamente en la producción. Un conjunto de herramientas que actualmente despiertan gran interés en el mundo de la ingeniería industrial por lo que a producción se refiere son las aplicaciones de control estadístico de

Aertia Software

Aertia Software proporciona a empresas, ingenierías, Universidades y Centros docentes herramientas y programas informáticos altamente especializados para ayudarles a desarrollar de modo más eficaz su labor profesional, formativa, investigadora y académica. Para ello, ha suscrito acuerdos de colaboración y de distribución con compañías líderes en el sector informático con una amplia experiencia en el desarrollo y adaptación de soluciones informáticas orientadas a sectores especializados, como la Automoción, producción, Ingeniería civil y mecánica, electrónica, visualización 3D, realidad virtual y otras áreas de investigación y empresariales. Esta experiencia se encuentra avalada, además, por el amplio soporte e importante volumen de usuarios de estas aplicaciones, que hace que estas empresas sean actualmente referentes en el sector de la Ingeniería y de la Técnica.

procesos o SPC. Básicamente su idea es la de proporcionar un conjunto de funciones de análisis que permitan determinar el correcto funcionamiento de la producción y el impacto que podría tener la introducción de cambios. Además de garantizar los estándares de calidad y el cumplimiento de regulaciones, las herramientas SPC suelen ofrecer la capacidad de captura de datos de planta y la generación de alertas automáticas cuando exista una discrepancia significativa con respecto a las especificaciones de producción. **Northwest Analytical** ofrece una de las familias de productos más emblemática en esta categoría.

Y si de lo que se trata es de controlar equipos de medida (como los que habitualmente se encuentran en laboratorios químicos y farmacéuticos) existe todo un conjunto de soluciones englobadas bajo las siglas *LIMS (Laboratory Information Management System)* cuya misión es la de automatizar el proceso de recogida, almacenamiento, transmisión y tratamiento de los datos proporcionados por los diferentes instrumentos de manera centralizada.

La integración, clave del futuro

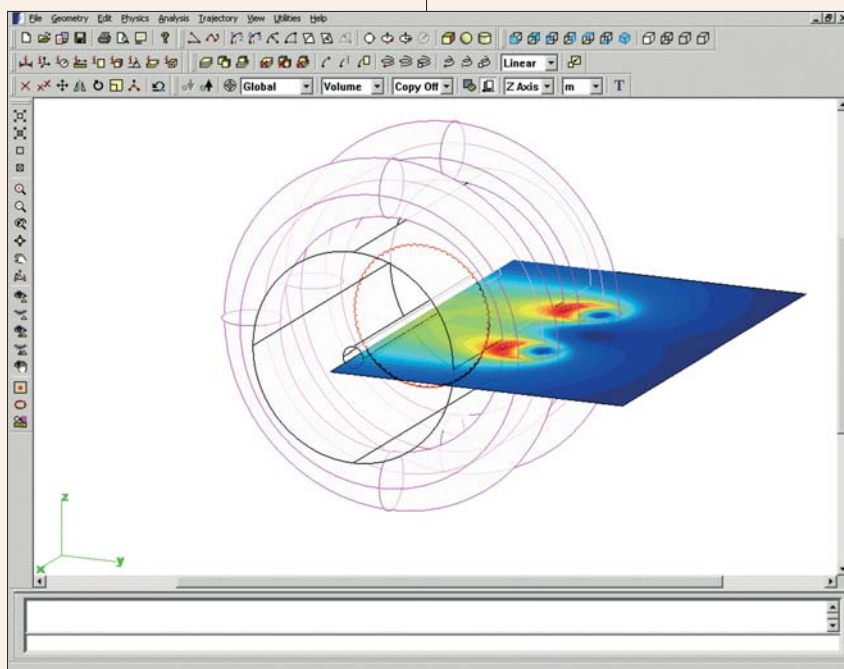
Muchas de las actuales aplicaciones de carácter técnico y científico ya han alcanzado un elevado grado de madu-

rez, aunque ello no significa que no puedan evolucionar más. De hecho, aparte de incrementar el número de prestaciones y funcionalidades con cada nueva versión, se observan dos tendencias evolutivas básicas en muchos productos. Por una parte, existe una predisposición cada vez mayor a ofrecer soporte a arquitecturas paralelas, como *clusters Linux*, en especial en las aplicaciones que precisan un cálculo más intensivo.

Por otra parte, muchos fabricantes están trabajando para conseguir una mejora en la integración de sus programas con los de otros proveedores ya sea a través del cumplimiento de estándares o mediante una integración directa. Es evidente que el ciclo de vida de cualquier producto industrial requiere la utilización de diferentes aplicaciones especializadas. Conseguir que entre ellas exista una comunicación no sólo es deseable, sino que esta circunstancia puede proporcionar una ventaja competitiva importante.

En la actualidad existen diferentes ejemplos de cómo se está llevando esta integración, desde productos estadísticos como *XLStat*, que actúan como *plug-ins* transparentes de una aplicación tan popular como es *Microsoft Excel*, hasta soluciones de análisis de elementos finitos que se interrelacionan con programas de diseño CAD. Este último es el caso de *NEiNastran*, que dispone de una versión que se incrusta en *SolidWorks*, un popular programa CAD, para proporcionar un análisis FEA completo en tiempo de diseño.

De modo similar, es factible integrar diseño con producción. Este es el caso, por ejemplo, de las soluciones de control de calidad de **Northwest Analytical**, capaces de conectarse con una base de datos de especificaciones creada durante la fase de diseño de un producto y determinar si los elementos fabricados se ajustan o no a dichos valores. Asimismo, determinadas aplicaciones ofrecen la capacidad de conexión con sistemas ERP empresariales, completando de este modo un flujo de información de gran valor añadido. ■



Análisis del campo magnético producido por un modelo en 3D.